乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质及营养成分的影响

张相伦 游 伟* 赵红波 王星凌 万发春**

（山东省农业科学院畜牧兽医研究所，山东省畜禽疫病防治与繁育重点实验室，济南 250100）

摘 要：本研究探讨了乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质及营养成分的影响。选取新鲜全株玉米 720 kg，平均分为 4 组，每组 12 个重复，每个重复 15 kg。对照组不添加乳酸菌制剂，试验组分别添加 2、10 和 20 mg/kg 的乳酸菌制剂，置于室温条件下保存，试验期 60 d。于 45 和 60 d 取样分析。结果表明，与对照组相比：1）各试验组感官评价指标无显著变化（$P>0.05$）。2）试验组乳酸菌数量显著提高（$P<0.05$），10 mg/kg 组 45 d 及各试验组 60 d 的霉菌数量显著降低（$P<0.05$）。3）试验组 45 d 乳酸、乙酸含量显著升高（$P<0.05$），丁酸含量显著降低（$P<0.05$）；2 和 10 mg/kg 组 60 d 乙酸含量显著升高（$P<0.05$）。4）45 d，2 及 10 mg/kg 组粗蛋白质含量显著提高（$P<0.05$），2 mg/kg 组中性洗涤纤维含量显著提高（$P<0.05$），各试验组氨态氮含量显著降低（$P<0.05$）；60 d，20 mg/kg 组水溶性碳水化合物含量显著降低（$P<0.05$）。由此可见，添加乳酸菌制剂可以改善全株玉米青贮品质，提高营养价值，以发酵过程中霉菌数量最低为依据，推荐乳酸菌制剂的添加量为 10 mg/kg。

关键词：乳酸菌；全株玉米；青贮品质；营养成分

中图分类号：S816

青贮是指以新鲜青饲料为原料，在密闭条件下，利用植物表面自然附生的乳酸菌，通过厌氧发酵，将植物表面的可溶性碳水化合物转化为乳酸、乙酸等有机酸，降低饲料 pH，抑制霉菌等腐败微生物生长繁殖，达到保持青饲料营养特性的目的[1]。全株玉米青贮在反刍动物饲料供应中占有非常重要的地位，其由于具有营养价值高、适口性好和易保存等优点得到广泛应用，对“节粮型”及“秸秆型”畜牧业生产的发展起到积极的推动作用[2]。但是，在很多地区由于青贮技术不过关，加之青贮原料表面附着的乳酸菌数量不足，不能有效缩短青贮过程中的有氧呼吸阶段，造成腐败微生物滋生，营养成分消耗严重，导致青贮品质下降和饲料

收稿日期：2017-06-29

基金项目：现代农业（肉牛牦牛）产业技术体系建设专项资金（CARS-37）；山东省现代农业产业技术体系牛产业创新团队（SDAIT-09-07）；山东省农业科学院农业科技创新工程（CXGC2017B02，CXGC2016B03）；山东省 2016 年度农业重大应用技术创新项目

作者简介：张相伦（1990—），男，山东日照人，助理研究员，博士，从事反刍动物营养研究。E-mail： xianglunzhang@163.com

*同等贡献作者

**通信作者：万发春，研究员，硕士生导师，E-mail： wanfc@sina.com

资源浪费。如何生产高效、优质、安全的玉米青贮已成为行业内高度关注的问题。近年来，关于提高青贮发酵品质添加剂的研究主要集中在微生物制剂、酶制剂、有机酸类、糖类等。综合前人研究表明，以乳酸菌为主的微生物制剂因具有有效抑制腐败微生物繁殖、降低青贮营养物质损失、提高青贮品质且效果较稳定等优势而备受关注。乳酸菌根据其发酵产酸能力主要分为 2 类，一类是同型发酵乳酸菌，另一类是异型发酵乳酸菌。前者发酵葡萄糖产生乳酸，后者除产生乳酸外，还可产生乙酸、乙醇、二氧化碳等产物[2-3]。研究表明，同型发酵乳酸菌可有效提高发酵过程中青贮品质，而异型发酵乳酸菌在提高青贮有氧稳定性中具有重要作用[4-6]。目前，关于利用乳酸菌制剂改善青贮饲料品质的研究多集中于单一菌种的添加，且研究表明 2 种类型的乳酸菌在提高青贮饲料品质方面均表现出各自的优势，而利用同型和异型发酵乳酸菌协同作用于青贮饲料的研究还相对较少。另外，由于受使用环境[7]、添加剂量[8]等方面的影响，导致部分已有研究结果仍存在差异，需进一步探讨。因此，本研究以山东省 2016 年 9 月收获的全株玉米为研究对象，采用同型和异型发酵乳酸菌复合制剂，探讨不同剂量复合乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质及营养成分的影响，以期为乳酸菌制剂的推广应用提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验材料为山东省 2016 年 9 月刈割新鲜全株玉米，营养成分含量[干物质（DM）基础]：有机物（OM）86.84%，粗蛋白质（CP）8.27%，中性洗涤纤维（NDF）55.95%，酸性洗涤纤维（ADF）26.03%。青贮袋（75 cm×40 cm×8 cm）分内外 2 层，外层为聚丙烯材料，内层为聚乙烯材料。乳酸菌制剂（11GFT,加拿大 Pioneer Hi-Bred 公司），每克产品含有 1.1×10^{11} CFU 乳酸菌，包括布氏乳杆菌和干酪乳杆菌 2 种。

1.2　试验设计

选取籽粒处于蜡熟期的新鲜全株玉米 720 kg，品种为登海 605，外观呈绿色，含水量为 73.67%，切短至 1～4 cm，平均分为 4 组，每组 12 个重复，每个重复 15 kg。对照组每个重复喷雾添加 45 mL 去离子水，试验组分别喷雾添加 2、10 和 20 mg/kg 的乳酸菌制剂（预先稀释于 45 mL 去离子水中），分别混合均匀。然后将全株玉米青贮快速装填并压实于青贮袋中，置于室温条件下密封保存，试验期 60 d。

1.3　样品采集及指标测定

于第 45 和 60 天分别开袋取样，每组取样 6 个重复，进行相关指标的测定。

1.3.1　感官评价指标

按照德国农业协会（DLG）青贮质量感官评分标准进行评定[9]，根据青贮的气味（14分）、结构（4 分）、色泽（2 分）进行评分。综合 3 项得分，评定为优（16～20 分）、可（10～15 分）、中（5～9 分）、下（0～4 分）4 个等级。

1.3.2　微生物数量

取新鲜样本 30 g，加入到盛有 270 mL 生理盐水的塑料袋或样品瓶中，充分搅拌后将此溶液稀释 10～10^7 倍数。微生物数量测定采用平板计数法，乳酸菌用 MRS 琼脂培养基进行计数，称取 64.25 g MRS 培养基于 1 L 蒸馏水中，加热煮沸溶解后置于 121 ℃高压灭菌 15 min，倾注平板备用。取 100 μL 不同浓度的接种液分别接种于平板上，涂匀后置于厌氧培养箱中 37 ℃培养 2 d，分别对平板上的乳酸菌进行计数。霉菌采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基进行计数，称取 40.1 g 马铃薯葡萄糖琼脂培养基于 1 L 蒸馏水中，加热煮沸溶解后置于 121 ℃高压灭菌 20 min，倾注平板后备用。取 100 μL 不同浓度的接种液分别接种于平板上，涂匀后置于 37 ℃恒温培养箱中培养 2～4 d 分别进行计数（每个平板上菌落数控制在 30~300 个之间为有效）。

1.3.3　pH 测定

取 10 g 新鲜样本，加入 90 mL 去离子水，4 ℃浸提 24 h，采用 pH 计（HI9025,意大利 Hanna Instruments 公司）测定滤液 pH。

1.3.4　有机酸及氨态氮含量测定

取 35 g 新鲜样本，放入 100 mL 的广口三角瓶中，加入 70 mL 去离子水，4 ℃浸提 24 h，然后通过 2 层纱布和定性滤纸过滤，所得的液体为青贮浸提液，置于-20 ℃条件下保存待测。滤液用来测定乳酸（LA）、挥发性脂肪酸（VFA）和氨态氮（NH_3-N）含量。乳酸含量采用对羟基联苯法测定[10]，以乳酸钙为标准品做标准曲线，计算乳酸含量，结果以 g/kg DM 计。挥发性脂肪酸（VFA）含量采用高效气相色谱仪（GC-2010，日本岛津公司）进行测定[11]，包括乙酸、丙酸和丁酸含量，结果以 g/kg DM 计。氨态氮含量采用苯酚-次氯酸钠比色法进行测定[12]，以氯化铵为标准品做标准曲线，计算氨态氮含量，结果以 g/kg TN（总氮）计。

1.3.5　化学成分测定

取新鲜全株玉米青贮制备风干样本，按照 AOAC（2015）[13]中的方法测定 OM、CP、NDF 及 ADF 含量。水溶性碳水化合物（water-soluble carbohydrate,WSC）含量采用蒽酮硫酸比色法测定[14]，以葡萄糖为标准品做标准曲线，计算 WSC 含量，结果以 g/kg DM 计。

1.4　数据统计与分析

数据经 Excel 2007 初步整理后，采用 SPSS 16.0 软件中的单因素方差分析（one-way

ANOVA）进行统计分析，多重比较采用 Duncan 氏多重比较检验，结果以平均值（mean）和平均值标准误（SEM）表示，P<0.05 为差异显著。

2 结　果

2.1　乳酸菌制剂对全株玉米青贮感官评价指标的影响

由表 1 可见，各组全株玉米青贮气味、结构、色泽及综合评分均无显著差异（P>0.05）。

表 1　乳酸菌制剂对全株玉米青贮感官评价指标的影响

Table 1　Effects of lactic acid bacteria preparation on sensory evaluation indices of whole corn silage

项目 Items	乳酸菌制剂添加量 Lactic acid bacteria preparation supplemental levels/(mg/kg)				SEM	*P* 值 *P*-value
	0	2	10	20		
45 d						
气味 Smell	13.33	13.33	12.67	13.33	0.34	0.883
结构 Structure	3.33	3.67	3.67	3.67	0.17	0.883
色泽 Color	1.67	1.50	1.83	1.50	0.10	0.628
综合评分 Total score	18.33	18.50	18.17	18.50	0.40	0.991
60 d						
气味 Smell	13.33	12.67	13.33	13.33	0.34	0.883
结构 Structure	3.67	3.67	4.00	3.67	0.14	0.801
色泽 Color	1.50	1.67	1.67	1.83	0.10	0.724
综合评分 Total score	18.50	18.00	19.00	18.83	0.40	0.842

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values in same row with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　乳酸菌制剂对全株玉米青贮微生物数量的影响

由表 2 可见，与对照组相比，2、10 和 20 mg/kg 组 45 d 的乳酸菌数量分别提高了 24.54%、25.96%和 25.11%，差异均显著（P<0.05），霉菌数量分别降低了 10.09%（P>0.05）、20.00%（P<0.05）和 14.13%（P>0.05）；2、10 和 20 mg/kg 组 60 d 的乳酸菌数量分别提高 17.44%、20.93%和 20.54%，差异均显著（P<0.05），霉菌数量分别降低 31.01%、29.65%和 28.29%，差异均显著（P<0.05）。

表 2　乳酸菌制剂对全株玉米青贮微生物数量的影响

Table 2　Effects of lactic acid bacteria preparation on bacteria contents of whole corn silage　　lg(CFU/mL)

项目 Items	乳酸菌制剂添加量 Lactic acid bacteria preparation supplemental levels/(mg/kg)				SEM	*P* 值 *P*-value
	0	2	10	20		

45 d						
乳酸菌 Lactic acid bacteria	7.01^{b}	8.73^{a}	8.83^{a}	8.77^{a}	0.16	<0.010
霉菌 Mould	5.45^{a}	4.90^{ab}	4.36^{b}	4.68^{ab}	0.15	0.049
60 d						
乳酸菌 Lactic acid bacteria	7.74^{b}	9.09^{a}	9.36^{a}	9.33^{a}	0.15	<0.001
霉菌 Mould	5.16^{a}	3.56^{b}	3.63^{b}	3.70^{b}	0.18	<0.001

2.3 乳酸菌制剂对全株玉米青贮 pH 及有机酸含量的影响

由表 3 可见，45 和 60 d，各组的 pH 均无显著差异（*P*>0.05）。45 d，2、10 和 20 mg/kg 组的乳酸含量较对照组分别提高 10.63%、7.90%和 8.05%，差异均显著（*P*<0.05），乙酸含量分别提高了 364.10%、288.76%和 285.40%，差异均显著（*P*<0.05），而丁酸含量分别降低 17.72%、15.19%和 11.39%，差异均显著（*P*<0.05）。60 d，与对照组相比，2 及 10 mg/kg 组乙酸含量分别提高 767.17%和 171.73%，差异显著（*P*<0.05），各组其他指标无显著差异（*P*>0.05）。

表 3 乳酸菌制剂对全株玉米青贮 pH 及有机酸含量的影响

Table 3 Effects of lactic acid bacteria preparation on pH and organic acid contents of whole corn silage g/kg DM

项目 Items	乳酸菌制剂添加量 Lactic acid bacteria preparation supplemental levels/(mg/kg)				SEM	*P* 值 *P*-value
	0	2	10	20		
45 d						
pH	3.68	3.69	3.69	3.70	0.01	0.468
乳酸 LA	34.43^{b}	38.09^{a}	37.15^{a}	37.20^{a}	0.53	0.042
乙酸 Acetate	5.07^{b}	23.53^{a}	19.71^{a}	19.54^{a}	2.26	0.018
丙酸 Propionate	6.78	6.70	6.86	6.83	0.29	0.998
丁酸 Butyrate	0.79^{a}	0.65^{b}	0.67^{b}	0.70^{b}	0.02	0.012
60 d						
pH	3.62	3.67	3.65	3.60	0.01	0.138
乳酸 LA	22.52	23.90	23.47	22.63	0.44	0.692
乙酸 Acetate	5.27^{c}	45.70^{a}	14.32^{b}	5.74^{c}	3.74	<0.001
丙酸 Propionate	8.73	9.80	9.14	8.89	0.23	0.415
丁酸 Butyrate	0.73	0.74	0.70	0.71	0.01	0.594

2.4 乳酸菌制剂对全株玉米青贮化学成分的影响

由表 4 可见，45 d，与对照组相比，2 及 20 mg/kg 组 CP 含量提高了 7.70%和 11.85%，差异显著（*P*<0.05），2 mg/kg 组 NDF 含量提高了 15.90%，差异显著（*P*<0.05），2、10 和 20 mg/kg 组氨态氮含量分别显著降低了 15.44%、21.87%和 18.60%（*P*<0.05）。60 d，20 mg/kg 组 WSC 含量较对照组降低了 33.14%，差异显著（*P*<0.05），其他指标间无显著差异（*P*>0.05）。

表 4 乳酸菌制剂对全株玉米青贮化学成分的影响

Table 4 Effects of lactic acid bacteria preparation on chemical composition of whole corn silage %

项目 Items	乳酸菌制剂添加量 Lactic acid bacteria preparation supplemental levels/(mg/kg)				SEM	*P* 值 *P*-value
	0	2	10	20		
45 d						
有机物 OM/%	88.60	88.51	88.48	88.15	0.30	0.969
粗蛋白质 CP/%	6.75[c]	7.27[ab]	7.11[bc]	7.55[a]	0.09	0.001
中性洗涤纤维 NDF/%	51.62[b]	59.47[a]	55.94[ab]	57.07[ab]	1.07	0.035
酸性洗涤纤维 ADF/%	25.26	26.00	25.81	24.52	0.42	0.655
氨态氮 NH_3-N/(g/kg TN)	8.55[a]	7.23[b]	6.68[b]	6.96[b]	0.24	0.002
水溶性碳水化合物 WSC/(g/kg DM)	109.00	113.60	112.32	109.81	2.88	0.946
60 d						
有机物 OM/%	87.33	86.96	87.07	86.72	0.23	0.863
粗蛋白质 CP/%	6.77	6.99	7.07	7.35	0.08	0.071
中性洗涤纤维 NDF/%	51.27	54.25	51.50	55.14	0.79	0.205
酸性洗涤纤维 ADF/%	22.55	22.57	24.47	25.73	0.75	0.395
氨态氮 NH_3-N/(g/kg TN)	7.91	7.46	7.40	7.01	0.30	0.812
水溶性碳水化合物 WSC/(g/kg DM)	82.44[a]	67.22[ab]	64.52[ab]	55.12[b]	3.41	0.028

3 讨 论

3.1 乳酸菌制剂对全株玉米青贮品质的影响

青贮的基本原理是利用好气性微生物和植物细胞本身的呼吸作用使青贮窖内尽快形成厌氧环境，然后在密闭厌氧条件下利用乳酸菌的活动，产生乳酸，抑制其他腐败微生物的活动，达到饲料长期保存及使用的目的[15]，一般包括好氧细菌活动阶段，乳酸菌发酵阶段和发酵稳定阶段等[16]。本研究表明，各组全株玉米青贮感官评价综合评分均在 16～20 分，达到优级标准，说明各组青贮效果均较好。微生物数量方面，添加乳酸菌制剂组的乳酸菌数量显著提高，霉菌数量均有不同程度降低，这与前人研究结果类似[17-18]，说明添加乳酸菌制剂可以促使乳酸菌成为青贮过程中的优势菌群，缩短好氧细菌活动阶段，对霉菌等有害微生物产生抑制作用[17]。有机酸含量分析结果表明，添加乳酸菌制剂可提高发酵 45 d 乳酸含量，表明添加乳酸菌制剂可以提高青贮早期乳酸生成量，改善青贮品质。但各组发酵 60 d 乳酸含量无显著差异，且 60 d 乳酸含量较 45 d 降低。分析原因为本试验采用的乳酸菌制剂为布氏乳杆菌和干酪乳杆菌混合剂，其中布氏乳杆菌属异型发酵乳酸菌，能分解乳酸产生挥发性脂肪酸如乙酸等。Kung 等[19]将 3 种剂量（1×10^5、5×10^5、1×10^6 CFU/g）布氏乳杆菌接种于紫花苜蓿中发酵 56 d，结果表明乳酸含量不同程度降低，乙酸含量升高。吕文龙等[20]将布氏乳杆菌接种于青玉米秸进行发酵，发现低剂量布氏乳杆菌可以一定程度上提高乳酸生成量，但随着储存时间的延长及剂量的提高，乳酸含量显著降低，乙酸含量显著升高。干酪乳

杆菌属乳杆菌属，兼性异型发酵乳糖。Nishino 等[4]报道，将干酪乳杆菌接种于全株玉米（2×10^6 CFU/g）和全混合日粮（3×10^6 CFU/g）发酵 60 d 后，乳酸含量提高，乙酸含量显著降低。随后，Nishino 等[5]在羊茅草、全株玉米及全混合日粮中分别接种干酪乳杆菌，发酵 60 d，结果也发现乳酸含量提高，乙酸含量降低。表明干酪乳杆菌可以提高青贮乳酸生成量、降低乙酸生成量。因此，本研究观测到的 45 d 试验组乳酸含量的升高可能与干酪乳杆菌的早期定植并发酵产生乳酸有关。但随着发酵时间的延长，布氏乳杆菌可在后期大量繁殖[21]，可能利用了干酪乳杆菌发酵产生的乳酸，导致 60 d 乳酸含量较 45 d 降低。另外，本研究还发现试验组乙酸含量较对照组有不同程度提高，且随着发酵时间的延长，乙酸含量继续升高。据报道，布氏乳杆菌在发酵过程中能将乳酸分解成乙酸和丙二醇，而相对乳酸而言，乙酸等挥发性脂肪酸是一种更有效的抗真菌及霉菌的酸类物质，因此更有利于提高青贮的有氧稳定性。综上，本研究发现的乳酸、乙酸含量的变化可能是布氏乳杆菌和干酪乳杆菌共同作用的结果。丁酸是由腐败菌和酪酸菌分别分解蛋白质、葡萄糖和乳酸而生成的产物，其含量的高低反映青贮饲料品质的优劣，丁酸含量越多，青贮品质越差[7,22]。本研究发现添加乳酸菌制剂可以降低 45 d 青贮的丁酸含量，这与霉菌等腐败菌数量的降低相符合。

3.2　乳酸菌制剂对全株玉米青贮营养成分的影响

全株玉米青贮的营养成分是评价青贮质量好坏的另一项重要指标。本研究发现，添加乳酸菌制剂可以一定程度上提高全株玉米青贮的 CP 含量，降低其中氨态氮的比例。青贮饲料中氨态氮主要由植物酶对蛋白质的降解和微生物分解利用蛋白质和氨基酸产生，总氮中氨态氮含量反映了青贮饲料蛋白质降解的程度[23-24]。Nishino 等[5]将布氏乳杆菌、干酪乳杆菌分别接种于羊茅草和全混合日粮中进行发酵，结果表明氨态氮含量均显著降低。Li 等[25]报道，在玉米秸秆中接种复合乳酸菌制剂发酵 150 d 后，总氮中氨态氮含量较对照组显著降低，CP 含量显著提高。上述试验结果均与本研究类似，推测乳酸菌可能通过降低全株玉米在储存过程中蛋白质的降解作用或抑制腐败微生物的分解作用，从而降低总氮中氨态氮含量，间接提高 CP 含量，提高了其营养价值。此外，研究还发现试验组 NDF 含量不同程度升高，WSC 含量降低，这与 Addah 等[22]的研究结果类似。玉米秸秆中含有较为丰富的 WSC，为乳酸菌的定植提供了丰富的营养物质，因此乳酸菌的加入可能利用了秸秆中的 WSC，使得细胞壁中难以降解的碳水化合物如 NDF 等组分有所升高[2]。综合各营养成分指标结果发现，尽管试验组 CP 含量较对照组提高，但各组 OM 含量差异并不显著，说明试验组全株玉米青贮的无氮化合物含量存在一定程度降低，这可能与乳酸菌利用了全株玉米青贮的可溶性碳水化合物等营养成分进行生长繁殖有关，乳酸菌的生长抑制了因腐败微生物作用引起的蛋白质的降

解，从而使青贮品质维持在较高水平。这也与本研究观测到的发酵 60 d 全株玉米青贮的 OM 和 WSC 含量较 45 d 降低，而 CP 含量基本不变的结果相吻合。

4 结 论

在本试验条件下，添加乳酸菌制剂可以改善全株玉米青贮品质，提高营养价值。以青贮发酵过程中霉菌数量最低为依据，推荐乳酸菌制剂的添加量为 10 mg/kg。

参考文献：

[1] 严萍,张永辉,麦热姆妮萨·艾麦尔,等.绿叶汁发酵液为添加剂改善玉米青贮品质的研究[J].草业科学,2012,29(1):160–164.

[2] 樊振,马贵军,姚峻,等.不同发酵类型乳酸菌对玉米青贮发酵品质的影响[J].饲料研究,2014(1):43–45,70.

[3] 司华哲.不同乳酸菌对紫花苜蓿青贮发酵品质及菌群动态变化的影响研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2016.

[4] NISHINO N,WADA H,YOSHIDA M,et al.Microbial counts,fermentation products,and aerobic stability of whole crop corn and a total mixed ration ensiled with and without inoculation of *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*[J].Journal of Dairy Science,2004,87(8):2563–2570.

[5] NISHINO N H,HATTORI H,WADA H,et al.Biogenic amine production in grass,maize and total mixed ration silages inoculated with *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*[J].Journal of Applied Microbiology,2007,103(2):325–332.

[6] MANGWE M C,RANGUBHET K T,MLAMBO V,et al.Effects of *Lactobacillus formosensis* S215^{T} and *Lactobacillus buchneri* on quality and *in vitro* ruminal biological activity of condensed tannins in sweet potato vines silage[J].Journal of Applied Microbiology,2016,121(5):1242–1253.

[7] 闫贵龙,曹春梅,刁其玉,等.不同季节对青贮窖中全株玉米青贮品质和营养价值的影响[J].畜牧兽医学报,2010,41(5):557–563.

[8] FILYA I,SUCU E,KARABULUT A.The effect of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation,aerobic stability and ruminal degradability of maize silage[J].Journal of Applied Microbiology,2006,101(6):1216–1223.

[9] 张子仪.中国饲料学[M].北京:中国农业出版社,2000.

[10] BARKER S B,SUMMERSON W H.The colorimetric determination of lactic acid in biological material[J].Journal of Biological Chemistry,1941,138(2):535–554.

[11] SHAO T,SHIMOJO M,WANG T,et al.Effect of additives on the fermentation quality and residual mono- and disaccharides compositions of forage oats (*Avena sativa* L.) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) silages[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2005,18(11):1582–1588.

[12] WEATHERBURN M W.Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia[J].Analytical Chemistry,1967,39(8):971–974.

[13] AOAC.Official methods of analysis[M].15th ed.Artington:Association of Official Analytical Chemists,2015.

[14] OWENS V N,ALBRECHT K A,MUCK R E,et al.Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total

nonstructural carbohydrates[J].Crop Science,1999,39(6):1873–1880.

[15] 赵子夫.乳酸菌的分离筛选及其对玉米青贮品质和有氧稳定性的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2009.

[16] WEINBERG Z G,MUCK R E.New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage[J].Fems Microbiology Reviews,2010,19(1):53–68.

[17] TAYLOR C C,KUNG L,Jr.The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos[J].Journal of Dairy Science,2002,85(6):1526–1532.

[18] GANDRA J R,OLIVEIRA E R,GANDRA E R D S,et al.Inoculation of *Lactobacillus buchneri* alone or with *Bacillus subtilis* and total losses,aerobic stability,and microbiological quality of sunflower silage[J].Journal of Applied Animal Research,2017,45(1):609–614.

[19] KUNG L,Jr,TAYLOR C C,LYNCH M P,et al.The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation,aerobic stability,and nutritive value for lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(1):336–343.

[20] 吕文龙,刁其玉,闫贵龙.布氏乳杆菌对青玉米秸青贮发酵品质和有氧稳定性的影响[J].草业学报,2011,20(3):143–148.

[21] 洪梅,刁其玉,姜成钢,等.布氏乳杆菌对青贮发酵及其效果的研究进展[J].草业学报,2011,20(5):266–271.

[22] ADDAH W,BAAH J,OKINE E K,et al.A third-generation esterase inoculant alters fermentation pattern and improves aerobic stability of barley silage and the efficiency of body weight gain of growing feedlot cattle[J].Journal of Animal Science,2012,90(5):1541–1552.

[23] CHIOU W S P,CHANG S H,BI Y.The effects of wet sorghum distillers' grains inclusion on napiergrass silage quality[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2000,80(8):1199–1205.

[24] 董志浩,原现军,闻爱友,等.添加乳酸菌和发酵底物对桑叶青贮发酵品质的影响[J].草业学报,2016,25(6):167–174.

[25] LI Y,YU C,ZHU W,et al.Effect of complex lactic acid bacteria on silage quality and *in vitro* dry matter digestibility of corn straw[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2012,11(9):1395–1399.

Effects of Lactic Acid Bacteria Preparation on Quality and Nutrient Composition of Whole Corn Silage

ZHANG Xianglun YOU Wei* ZHAO Hongbo WANG Xingling WAN Fachun**

(*Institute of Animal Science and Veterinary Medicine*, *Shandong Academy of Agricultural Sciences*, *Shandong Key Laboratory of Animal Disease Control and Breeding*, *Ji'nan* 250100, *China*)

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of lactic acid bacteria preparation on quality and nutrient composition of whole corn silage. A total of 720 kg whole corn was divided into four groups with twelve replicates per group and 15 kg per replicate. Silages with no

*Contributed equally

*Corresponding author, professor, E-mail： wanfc@sina.com

（责任编辑　王智航）

preparations served as control group and silages in experimental groups were mixed with 2, 10 and 20 mg/kg lactic acid bacteria preparation, respectively. Then the silages were stored under room temperature. The experimental period was 60 d. Samples ensiling for 45 and 60 d were collected and analyzed. The results showed that compared with control group: 1) sensory evaluation indices of the silage in experimental groups were not significantly changed (P>0.05). 2) the amount of lactic acid bacteria was significantly increased in experimental groups (P<0.05), and the amount of mould was significantly decreased in 10 mg/kg group at 45 d and in experimental groups at 60 d (P<0.05). 3) Experimental groups exhibited significantly increased lactic acid and acetate contents and significantly decreased butyrate content at 45 d (P<0.05); 2 and 10 mg/kg groups showed significantly increased acetate content at 60 d (P<0.05). 4) At 45 d, significantly increased crude protein content was detected in 2 and 10 mg/kg groups (P<0.05), and significantly increased neutral detergent fiber content was observed in 2 mg/kg group (P<0.05), whereas ammonia nitrogen content in experimental groups was significantly decreased (P<0.05); at 60 d, 20 mg/kg group showed significantly decreased water soluble carbohydrate content (P<0.05). Therefore, lactic acid bacteria preparation can improve quality of whole corn and nutrient value, and the recommended supplemental level of lactic acid bacteria preparation is 10 mg/kg based on the lowest amount of mould during fermentation.

Key words: lactic acid bacteria; whole corn; silage quality; nutrient composition